

Beton mutu tinggi semakin dikenal dalam konstruksi modern karena kekuatannya yang lebih unggul dibandingkan dengan beton biasa, terutama di tengah meningkatnya kebutuhan struktural, namun ketergantungannya terhadap semen berkontribusi secara signifikan terhadap masalah lingkungan, terutama emisi karbon. Beton geopolimer berbasis *fly ash* (FA) menjadi alternatif yang menjanjikan sebagai pengganti semen Portland. Namun, geopolimer berbasis FA sering kali memiliki reaktivitas dan kekuatan yang lebih rendah, sehingga perlu dicampur dengan material yang kaya kalsium seperti *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS). Meskipun GGBFS mengandung kalsium yang tinggi, kandungan tersebut dapat menyebabkan percepatan waktu *setting*, sehingga membutuhkan adanya *retarder*. Boraks telah diketahui dapat menunda waktu *setting* pada geopolimer berbasis FA, tetapi efeknya pada geopolimer berbasis FA-GGBFS masih belum diteliti. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pembuatan beton mutu tinggi dengan menggunakan kombinasi *fly ash* dan GGBFS serta boraks dosis rendah (3%) sebagai *retarder*, melalui perawatan suhu ruang.

Perancangan campuran menggunakan metode volume absolut karena belum adanya standar yang pasti dalam perancangan campuran geopolimer. Pengujian pasta geopolimer berupa uji *setting time*, *flow table*, dan kuat tekan pada umur 1, 7 dan 28 hari dengan spesimen kubus 50 mm. Pengujian mortar geopolimer berupa uji *flow table* untuk mengevaluasi *workability*. Pengujian beton geopolimer berupa uji kuat tekan pada umur 1, 7 dan 28 hari dengan spesimen silinder berukuran 100 x 200 mm. Variabel rasio FA:GGBFS divariasikan (100:0, 70:30, 50:50, dan 0:100). Aktivator alkali terdiri dari NaOH dan Na₂SO₃ dengan rasio Na₂SO₃/NaOH (*R*) sebesar 1,5 dan rasio alkali terhadap prekursor (*A*) sebesar 0,45. Boraks ditambahkan sebanyak 3% terhadap berat prekursor. Rasio volume pasta terhadap rongga agregat halus (*R_m*) dan mortar terhadap rongga agregat kasar (*R_b*) ditetapkan sebesar 1,5.

Boraks terbukti meningkatkan waktu *initial setting* sebesar 7-33 menit pada geopolimer berbasis FA-GGBFS. Substitusi GGBFS sebesar 30% meningkatkan waktu *initial* dan *final setting* dibandingkan campuran berbasis FA saja, hal ini disebabkan kandungan FA yang sangat reaktif. Substitusi GGBFS sebesar 50% dan 100% cenderung memperpendek *initial* dan *final setting*. Substitusi GGBFS menurunkan *workability* mortar, dengan indeks *flow* berkisar antara 83-158%. Peningkatan substitusi GGBFS meningkatkan kuat tekan pada sampel pasta dan beton, dengan kuat tekan beton tertinggi diamati pada campuran GGBFS 100% (74,86 MPa pada 28 hari). Substitusi 50% GGBFS menghasilkan kuat tekan 100,29 MPa untuk pasta dan 69,08 MPa untuk beton, dengan waktu *initial setting* 40 menit dan indeks *flow* 138%, sehingga dapat disimpulkan sebagai rasio optimum dengan properti yang seimbang. Temuan pada penelitian ini signifikan karena menghasilkan kuat tekan tertinggi jika dibandingkan dengan beberapa penelitian sebelumnya yang berfokus pada geopolimer berbasis FA-GGBFS yang dengan *curing* pada suhu ruang.

Kata kunci: Beton Mutu Tinggi, Beton Geopolimer, *Fly Ash*, *Ground Granulated Blast Furnace Slag*, Boraks, *Ambient Curing*.

ABSTRACT

High-strength concrete is increasingly acknowledged in modern construction for its superior strength compared to ordinary concrete, particularly amidst escalating structural demands; however, its cement reliance poses significant environmental concerns, notably carbon emissions. Fly ash (FA)-based geopolymer concrete emerges as a promising alternative to Portland cement, yet FA-based geopolymers often exhibit lower reactivity and strength, necessitating blending with calcium-rich materials like Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS). Although GGBFS is rich in calcium, it can accelerate setting time, necessitating the use of retarders. Borax has been recognized to delay setting time in FA-based geopolymers, though its impact on FA-GGBFS-based geopolymers remains unexplored. This study aims to investigate the production of high-strength concrete by utilizing a combination of fly ash and ground granulated blast furnace slag (GGBFS), incorporating a low dose of borax (3%) as a retarder, and employing ambient curing method.

The mix design employed the absolute volume method due to the absence of definitive standards in geopolymer mix design. Geopolymer paste was evaluated for setting time, flow table, and compressive strength at 1, 7, and 28 days, using 50 mm cube specimens. For geopolymer mortar, flow table tests were conducted to assess workability. Geopolymer concrete was assessed for compressive strength at 1, 7, and 28 days, using cylindrical specimens measuring 100 x 200 mm. This version maintains the clarity and structure while avoiding the repeated use of "testing.". The FA:GGBFS ratio was varied (100:0, 70:30, 50:50, and 0:100). The alkaline activator comprised NaOH and Na₂SO₃ with a Na₂SO₃/NaOH ratio (R) of 1.5 and an alkali to precursor ratio (A) of 0.45. Borax was added at 3% by weight of the precursor. The volume ratio of paste to fine aggregate voids (R_m) and mortar to coarse aggregate voids (R_b) was set at 1.5.

Borax has been showing to increase the initial setting time by 7-33 minutes in FA-GGBFS-based geopolymers. A 30% substitution of GGBFS increased both initial and final setting times compared to FA-based mixtures alone, attributed to the highly reactive FA content. Substitutions of 50% and 100% GGBFS tended to shorten both initial and final setting times. GGBFS substitution decreased mortar workability, with flow indices ranging from 83-158%. Increasing GGBFS substitution enhanced compressive strength in both paste and concrete samples, with the highest concrete compressive strength observed in the 100% GGBFS mixture (74.86 MPa at 28 days). A 50% GGBFS substitution resulted in compressive strengths of 100.29 MPa for paste and 69.08 MPa for concrete, with an initial setting time of 40 minutes and a flow index of 138%, thus concluding as the optimal ratio with balanced properties. The findings of this study are significant as it yields the highest compressive strength compared to several previous studies focusing on FA-GGBFS-based geopolymers cured at room temperature (ambient).

Keywords: High Strength Concrete, Geopolymer Concrete, Fly Ash, Ground Granulated Blast Furnace Slag, Borax, Ambient Curing.